

ETS-VI搭載光通信基礎実験装置の性能評価

Performance evaluation of laser communication equipment onboard the ETS-VI satellite

荒木賢一 有本好徳 鹿谷元一 豊田雅宏 豊嶋守生 高橋鉄雄
 Kenichi Araki, Yoshinori Arimoto, Motokazu Shikatani,
 Masahiro Toyoda, Morio Toyoshima, and Tetsuo Takahashi
 郵政省 通信総合研究所
 Communications Research Laboratory, MPT

ABSTRACT

Communications research laboratory (CRL) developed a laser communication equipment (LCE) onboard the engineering test satellite VI (ETS-VI) for establishment of basic technologies in optical intersatellite communications. The planned experiments using a ground-to-space laser link have been carried out successfully since December 1994. The paper presents an overviewed performance of the LCE in space through the experiments. Included are temperature variation characteristics in the LCE, operation characteristics of the tracking and pointing system, the communication system performance, and so forth.

1. はじめに 小型軽量の通信装置による大容量のデータ伝送を特長とする光衛星間通信技術は、将来の宇宙開発における重要な基盤技術の一つとして、各国の宇宙開発関連機関で研究開発が精力的に進められてきている [1]。通信総合研究所 (CRL) は、ETS-VI 計画において光通信実験を提案し、1987年から ETS-VI 本体と種々のインタフェース条件を調整しながら ETS-VI 搭載用光通信基礎実験装置 LCE (Laser Communication Equipment) の開発を行ってきた [2]。

1994年8月末にH-IIロケットによって打ち上げられたETS-VIは、当初予定の静止軌道投入はならず長楕円の周回軌道衛星となった [3]。3日回帰の準回帰軌道への軌道変更などによって3日毎に2~3時間の幅で通信実験が可能となり、CRL地上局とETS-VIとの間のレーザリンク (距離30,000~40,000km) を使う光通信実験は1994年12月より開始された。これまで双方向のレーザ伝送に成功するなど世界で初めての成果を挙げてきている。本稿では、これまでの光通信実験で明らかになったLCEの宇宙での性能特性について概要を報告する。

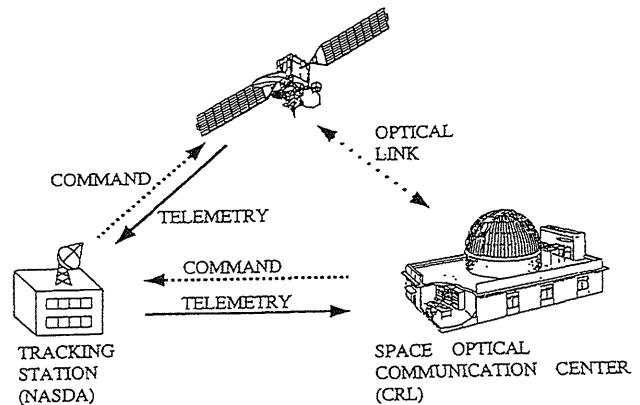


Fig. 1 System configuration for data acquisition

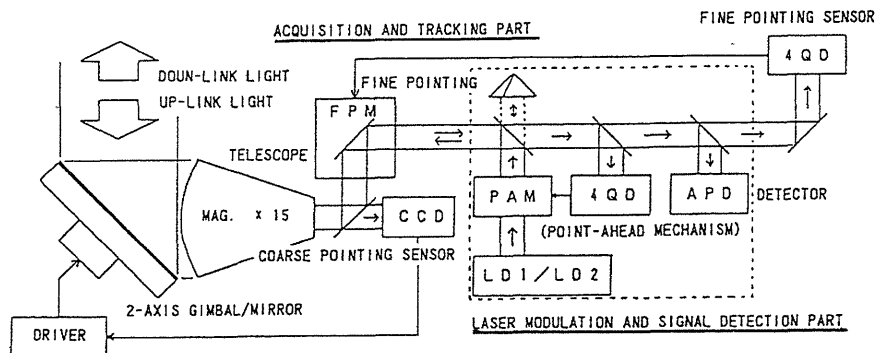


Fig. 2 Block diagram of the LCE

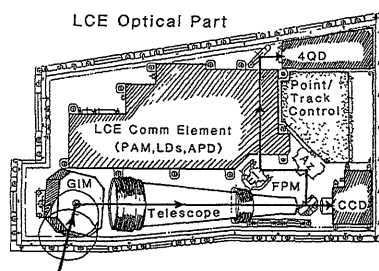
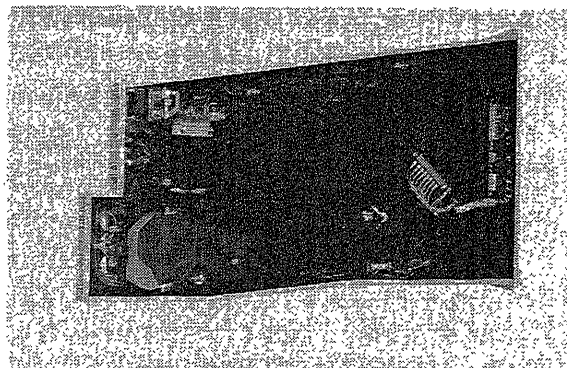
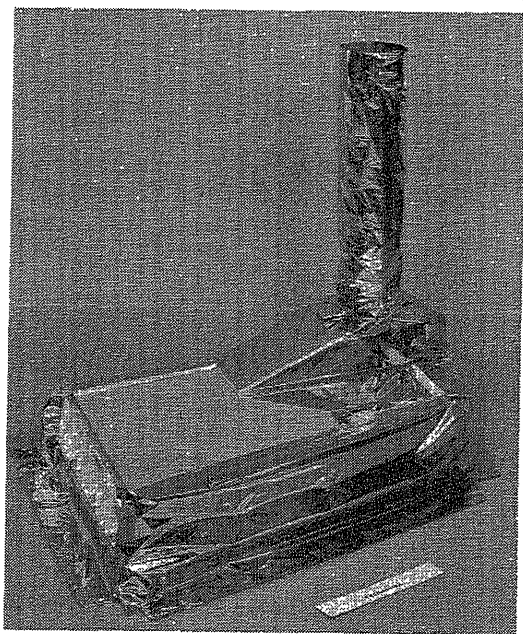


Fig. 3 Photograph and components layout of the LCE optical part

2. LCEの性能評価

Fig. 1にデータ取得のための実験システム構成を示している。LCE運用のためのコマンドはNASDA筑波宇宙センターの中央追跡管制所経由でETS-VIへ送られ、テレメトリはその逆の経路でCRL地上局へ送られてくる。

LCEでは光衛星間通信の基礎実験に必要な捕捉・追尾、光行差補正、光変復調などの機能が小型軽量の装置の中に凝集されて実現されている。さらに、姿勢検出、伝搬測定などの応用実験も可能になっている。Fig. 2にLCEの機能ブロック図を示している。LCEは、光源として波長 $0.83\mu\text{m}$ 、光出力 30mW (peak power)の半導体レーザー(LD)、光アンテナとして 75mm 径のガリレオ式望遠鏡(倍率15)、約 ± 1.5 度の範囲を指向できる2軸ジンバル指向機構を持っている。受信光は波長 $0.51\mu\text{m}$ のアルゴンレーザー光を前提としており、 1Mbps の双方向光通信が可能である。Fig. 3にLCE光学部の外観及び内部のレイアウトを示している。

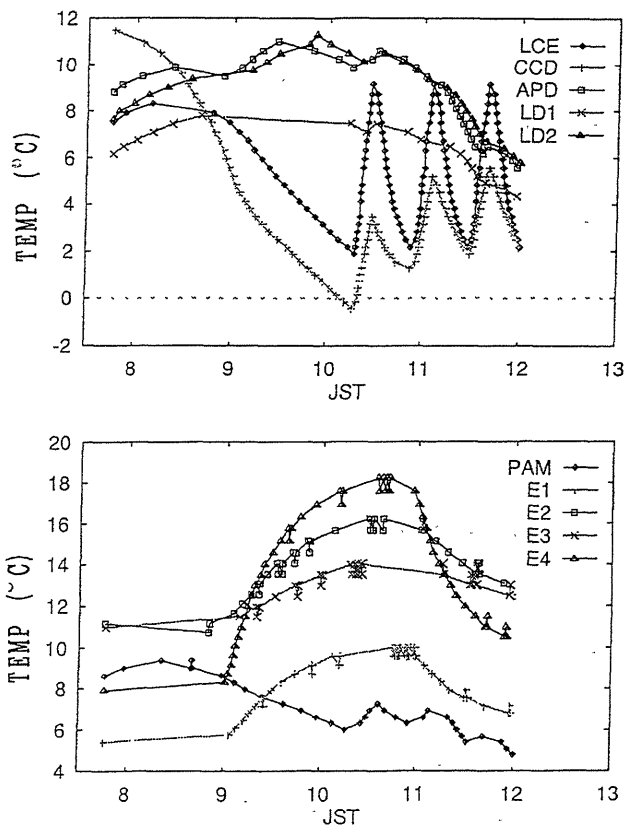


Fig. 4 Temperature variation in the LCE

2.1 温度制御系

Fig. 4にLCE各部の温度変化の例を示している。宇宙空間に露出されるLCE光学部のベースプレートには温度制御のためのパネルヒータが取り付けられている。サーモスタットによるヒータ回路のオンオフによって、ベースプレートの温度規定点の温度 (Fig. 4の'LCE'で示されている曲線) が2~9度の範囲になるように制御される設計となっている。図は温度制御が正常になされていることを示している。しかし、地上設計・解析による予想よりはその制御周期が約半分の約35分となっている。周回軌道になったため熱入射量の変化が静止衛星の場合と異なっていることによるものと考えられるが、これも含め全体の熱解析と評価は今後の課題である。

2.2 テレメトリ/コマンド系

コマンド送信によるLCEの制御、テレメトリ受信によるLCEのモニタはこれまでの実験を通じて正常に行われていることが確認されている。CRL地上局からETS-VIへコマンドを送信しそのアンサバックを得るまでの時間は平均的に約4秒になっており、その半分の時間でLCE状態を制御できていると考えられる。LCEでは高速のデータを取得するために、高速サンプリングしたデータを一旦内蔵メモリに蓄積しその後衛星システムのフォーマットである1秒毎のテレメトリとして送信する機能を有しているが、250Hz帯域APD出力データを始め各種の高速データを取得している。

2.3 捕捉・追尾・指向系

ロンチロック機構の不完全解放により2軸ジンバルの駆動範囲が一部制限されている。Fig. 5にジンバル駆動角度指定可能範囲の調査結果を示している。通信実験には差し支えない駆動範囲が確保されている。Fig. 6に粗追尾センサCCD、精追尾センサQDで受信される光レベルの変動を示している。受信光レベルの変動があるときは、安定した光ビームの追尾及び指向

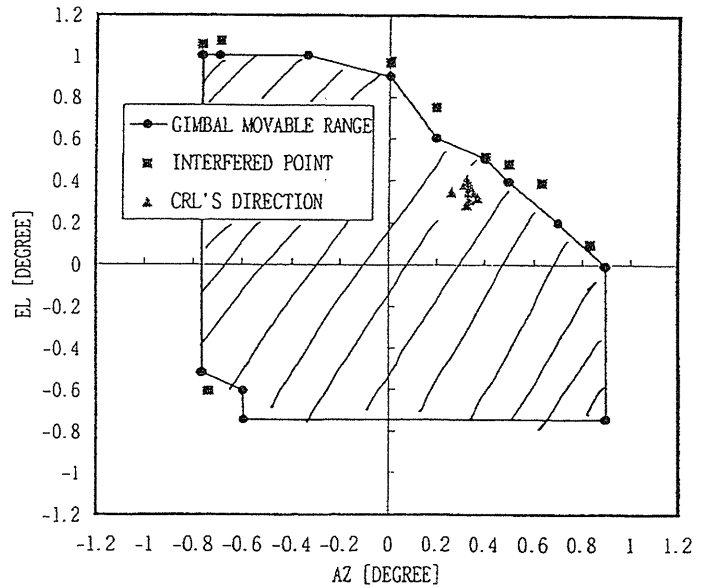


Fig. 5 Two-axis gimbal pointing range

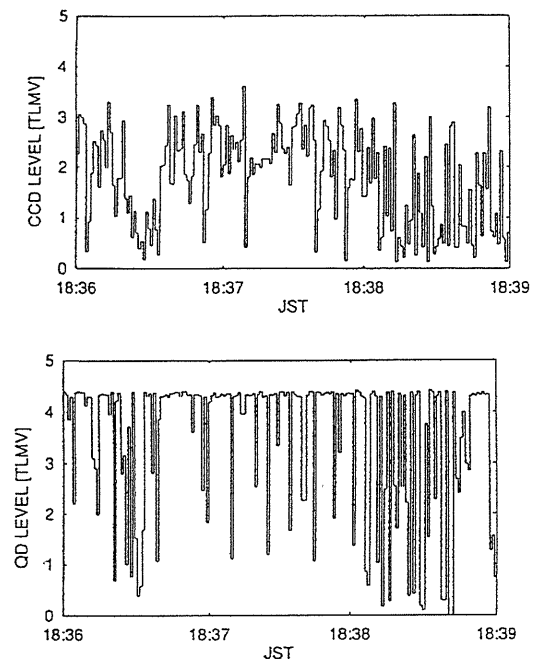


Fig. 6 Received light level variation at a CCD and a QD of the LCE

はできないものの、追尾や受信方向の角度に関するデータ取得はできる。Fig. 7に捕捉及び粗追尾用光センサCCDによる角度信号出力を示している。制御モードを、自動追尾モードからジンバル角度固定モードに切り替えさらに自動追尾モードに戻した場合である。ジンバル角度固定モードでの出力は姿勢誤差角度を出力していることになる。自動追尾モードではほぼ0.01度以内の追尾精度が達成されている。

2. 4 光通信系

レーザ送信系は、地上試験で測定されたと同様な光ビーム [4] 及び光変調波形が送信されている。Fig. 8に地上で受信されたダウンリンク光波形を示す。マンチェスタ符号で変調された波形が正確に受信されている。受信光の光検出器APDにおける出力をみるとS/Nは良好であることがわかる。LCEの受信復調系ではAPD光検出器によって地上からのレーザが受信され間欠的にはBERが測定されており、動作は正常であると判断している。

3. おわりに

本稿では、これまで得られているデータの一部に基づいてLCEの性能に関して述べた。現在、実験が進行中であり、取得データの定量的な解析をもとにしたLCEの詳細な性能評価は今後の課題として残されている。LCEによる世界で初めての地上-衛星間光通信実験は、将来の光によるデータ中継システムの開発に役立つと考えられ、内外からその成功に多くの期待が寄せられている。なお、標高約2,300mにある光学施設を用いたNASA/JPLとの国際共同実験も予定されており、LCEの評価に役立つ多くのデータが得られるものと期待している。

ETS-VI、LCEの運用調整の労をとって頂いている宇宙開発事業団ETS-VIグループを始め中央追跡管制所の関係各位に感謝する。

[参考文献] [1]古濱, 応用物理, 62, 9, p. 907, 1993. [2]荒木他, 通信総研季報, 40, 2, p. 153, 1992. [3]田中他, 1995信学全大, B-138, 1995. [4]K. Inagaki et al., Proc. SPIE, 1866, 1993.

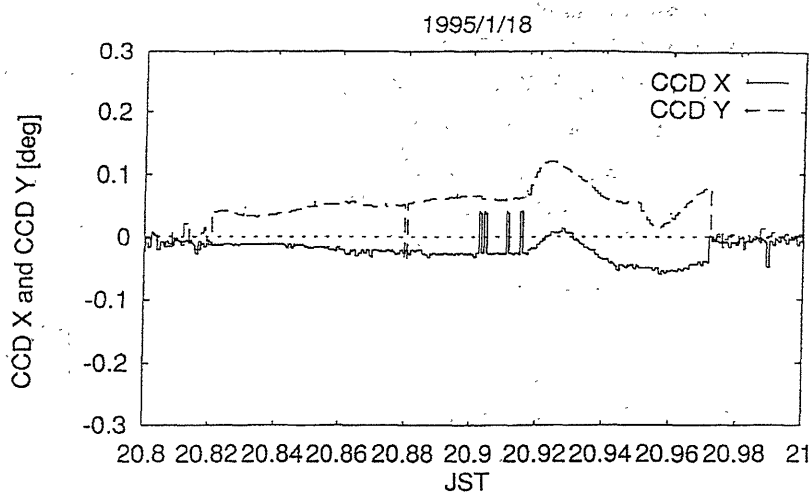


Fig. 7 Angular output of a CCD coarse tracking sensor

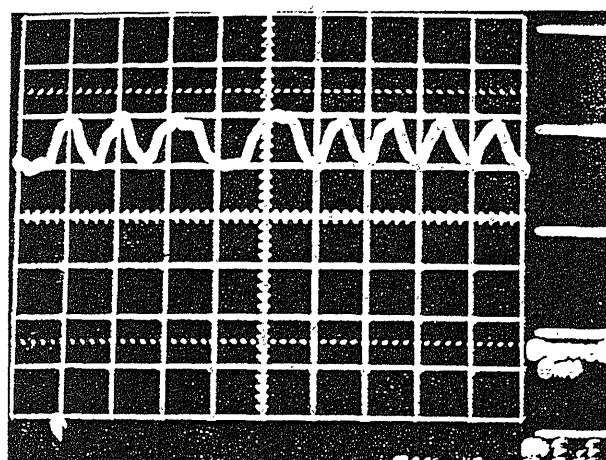


Fig. 8 Wave form of downlink light from the LCE detected by an APD receiver